

## 総合講演・報告3 『断層の活動性と工学的なリスク評価』調査専門委員会活動報告

## (1) 調査専門委員会について

## (1) Introduction of the Investigation Committee

奈良林 直<sup>1</sup><sup>1</sup>北海道大学, 調査専門委員会主査

## 1. はじめに

## 1-1. 調査専門委員会の活動目的

「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会では、活断層の活動等に伴って生じる断層変位も外部ハザードの一つと捉え、施設に与える影響に関する工学的な評価手法について、既往の研究成果を活用しながら、関連する多分野の専門家の協働により調査検討を行う（図1）。

それに基づき、不確実性を踏まえたトータルリスク評価、リスクを低減するためのアクシデントマネジメントの方策等にまとめ、原子力施設の安全性向上に資していく。

成果は報告書にまとめて国内外に発信するとともに、標準化の活動等に供していく。

## 1-2. 活動状況

本調査専門委員会の設置期間は、2014年10月～2016年9月の2年間であり、これまでの1年半の間に、調査専門委員会を7回、傘下の原子力分科会を5回開催し、調査検討を行ってきた。

この2016年春の年会において中間報告を行い（講演(1)、(4)）、本年9月までに最終報告書をまとめる予定である。（検討状況はホームページ参照 [http://www.aesj.net/sp\\_committee/com\\_dansou](http://www.aesj.net/sp_committee/com_dansou)）。

## 2. 検討の背景、問題認識

## 2-1. 断層変位への取組みの必要性

我が国は地震国であることから、原子力施設の立地・設計においては、最新の知見を踏まえて地震や津波を考慮した取組みが行われてきた。

しかし、2011年3月11日に発生した東日本大震災において、東京電力福島第一原子力発電所は安全上重要な施設は地震動に対して機能を維持したが、想定を上回る高さの津波の来襲を受け、全電源喪失とそれに伴う過酷事故が誘起された（以下「福島第一事故」という。）。事故の要因として、各事故調査報告書では、津波の想定において最新知見の反映ができていなかったことや、想定を超える事象に対する備えができていなかったことなどが指摘されている。

この事故により、社会は、“原子力が持つリスクがどのように顕在化するのか”を経験し、また、不確実さの大きい自然現象に対する原子力施設のリスク管理への取組みをあらためて考える重大な契機となった。

導き出される重要な教訓の一つは、関連する分野の専門家は、お互いに協力して、どのように原子力安全の確保に取り組むべきかをもっと注意深く考え、施設の安全性向上・リスク低減に向けた弛まぬ取組み

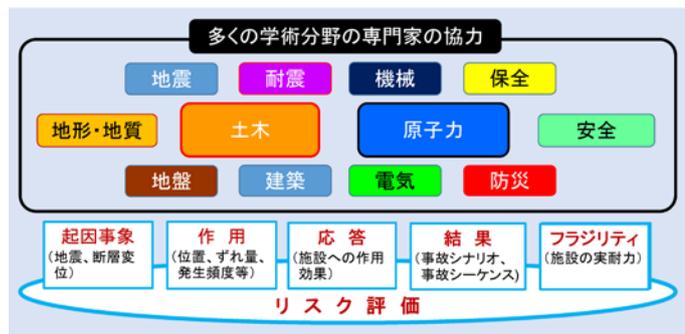


図1 学術分野横断の検討スキームの構成

\*Tadashi Narabayashi<sup>1</sup><sup>1</sup>Hokkaido University, Chairman of the Committee

を進めていかねばならないということである。

福島第一事故後の規制体制や基準が見直される中で、既設の原子力施設において、敷地内の断層変位の可能性の有無についての議論が生じており、断層変位の施設への影響の解明が喫緊の課題となっている(図2)。

地表に断層変位が生じる頻度は非常に低く、不確かさが大きい現象である。また、実験による模擬も難しい。このような不確かさが大きい事象の理解においてはその分野の専門家の意見が重要となるが、特に自然科学の分野においては、専門家でも様々な見解が存在し得る。

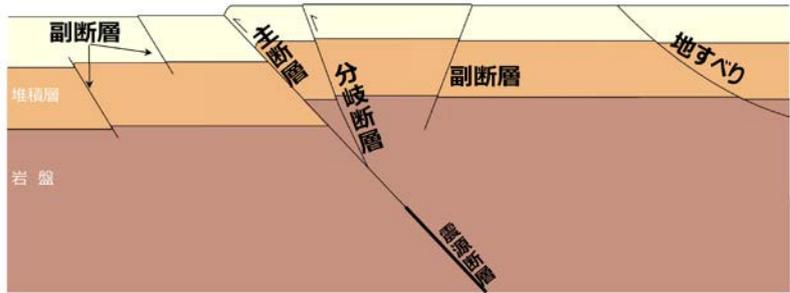


図2 地表付近の主な断層変位

## 2-2. 工学的対応の重要性

原子力施設の利用を進めていくに際して、福島第一事故の反省の上に立てば、対象とする自然現象がどれだけ分かっている、不確かさがどの程度あるのかについて専門的な知見を動員し、施設の安全性評価の観点から幅広い意見を集約し、科学的に多面的に検討を行うことが必要となる。

そして、最新の知見を反映した想定を行ったとしても、特に自然現象は不確かさが大きく、想定を超えることが起こり得るものとして備えをしておかねばならない。このことは、我が国において福島第一事故以前には欠けていた点である。科学的想像力を持ち、あらゆる力を使ってそれに備えるという発想が求められている。想定外をなくすには、多面的な多くの想定を行う以外にはない。

想定を超えた領域への対処は、リスク評価に基づく手法によって検討を行い、その評価結果から得られる情報を活用して、施設の安全性向上等のための意思決定を行うことが重要となる。リスク評価は、想定を超える外力に無防備になるのを防ぐために意義がある。また、リスク評価は、原子力安全の基本概念である深層防護の有効性を確認することにもなる。

このような科学的、技術的に合理的な取組みによりリスクを低減していく努力によって、「人と環境を守る」という原子力安全の目的を達成していかねばならない。

原子力施設という総合システムの安全確保は、幅広い分野の知の統合により成り立つものである。自然科学分野の知見も最大限活用し、原子力施設の安全確保を確実なものとするために、工学の果たす責任は極めて大きい。工学の責任は将来予測ではなく、想定を超える事象まで含めてシステムパフォーマンスを明確化し、原子力安全のため、更にどのような対処をすべきかを提示していくことである。

本調査専門委員会で対象とする断層変位も、地震や津波などと同様に外部ハザードとなり得る自然現象の一つと捉え、上述の認識に則って、その影響の程度を評価し、施設に如何なる影響をもたらすかをシナリオとともに評価することが原子力安全の考え方に沿った対応となる。その評価のための技術は、各学術分野においてすでに蓄積されてきている。

断層変位の施設にもたらす影響を評価して、対応策などの意思決定に繋げ、その結果を社会に提示していくことが、原子力安全に関わる者の責務と言える。

断層変位の可能性の有無のみの判断(=いわば“ゼロ変位要求”)をしても、原子力安全に関わるリスクを評価したことにはならない。断層変位が生じる頻度やその特徴などの不確かさも踏まえて、科学的に分析されたシナリオとともに断層変位の施設への影響を評価することが、原子力安全に関わるリスク評価となる。リスクを評価し、リスクを可能な限り低減させる努力を促すことができる首尾一貫した考え方が重要である。

福島第一事故の教訓を踏まえて原子力利用について社会の信頼を獲得していくために、リスクの再認識、原子力安全を確保するための一貫した取組み、安全性を継続的に改善する姿勢、それらに関する国内外への説明責任が重要であるということ、本調査専門委員会としても強く認識するものである。

### 3. 断層変位に対するリスク評価の基本的考え方

#### 3-1. 原子力安全の考え方

原子力安全の目的は、人と環境を、原子力の施設と活動に起因する放射線の有害な影響から防護することであり、原子力施設の安全確保の目標は、人や環境に放射線の有害な影響を与えるような事故の可能性を確実に極めて低いものとする事である。

これらの達成のため、国際的にも有効であると考えられているのが、深層防護の概念の適用である。

深層防護とは、原子力安全の目的の達成のために、ある目標をもった幾つかの障壁（防護レベル）を用意して、あるレベルの防護に失敗したら、次のレベルで防護するという概念である。

これは、人と環境に影響を与えるまでの種々の現象には人知が及ばない振る舞いが存在し得ることから、事前に充分と思われた対策でも思いがけない理由で失敗するかも知れないという不確かさの影響を考慮して、別の対応策、次の防護レベルの対応策を繰り返すことにより、一連の防護策全体の実効性を高めるという考え方である。

これら防護レベルの手段には、物理的な障壁のほか、例えば制御・管理や緊急時における対応手段も含まれる（ハード対策、ソフト対策）。

具体的な対応策においては、防護レベルを多層とすることを基本的な考え方として、想定する事象に対して複数の防護レベルで様々な手段を用意する。

また、特に自然現象のように不確かさが大きいものに対しては、事前の想定を逸脱したシナリオとなる場合もあり得るとして、不確かさに対する備えを多層とすることで、防護策全体の効果を高めることができる。

さらに、極めて頻度の低い事象や経験のない事象に関しては知識の不完全性による限界があることから、想定を超える領域の存在が否定できないとして、当該ハザードの特徴を踏まえた異なる質（工学的に違った切り口）の防護策を講じておくことが有効となる。

すなわち、不確かさに対処しつつリスクの顕在化を防ぐために深層防護の概念を適用することが有効であり、その的確な適用により、事象の早期の収束や機能の復旧などのレジリエンスの考え方も含めて、全体として質の高いロバストな対処が可能となる。

深層防護の考え方は、原子力安全を確保するための普遍的な考え方であり、それを積極的に講じることが重要な戦略となっている。

この深層防護の考え方を的確に適用し、効果的にリスクを低減を図るためには、リスク評価を実施することが有効である。

潜在的なリスクを管理するためには、リスクの三重項（リスクトリプレット）に答えることが必要であることが提唱されている。

- ①どのような望ましくないことが起こるか？ What can go wrong?（事故シーケンス）
- ②その発生可能性は如何ほどか？ How likely is it?（頻度）
- ③その影響はどのくらいか？ What its consequences might be?（影響）

福島第一事故を踏まえると、リスク評価の重要性が一層高まっている。リスク評価は、定量的なリスクの程度や弱点の把握ができ、また、多くのシナリオを取り込むことで想定外を少なくすることができる。

すなわち、「どのような望ましくないことが起こるか」というシナリオを幅広く考慮することが重要で、

事象の進展についての検討を行うアプローチが必須の取組みとなる。その取組みが原子力安全において価値を生み出す。

自然現象の一つである断層変位に対してもこの考え方を適用して原子力安全を考えること、すなわちリスクを評価するアプローチが必要であり、そのことにより、原子力安全の取組みが全体として首尾一貫した対応となる。

原子力安全の考え方からは、リスクへの寄与が小さいことが明らかでない限り放置してはならず、リスクの定量化の努力を行い、定量化が不完全にしかできない場合であっても、合理的に実行可能な評価・対応策を検討して、社会に提示していくことが必要である。

### 3-2. 断層変位に対する安全の考え方

原子力施設の場合、事前の詳細な地形・地質調査によって重要施設の設置地盤に断層変位の想定をする必要がないことを確認し、特に原子炉建屋に関しては設置地盤の検査（岩盤検査）を実施し、施設の支持性能に問題が生じるものではないことを確認してきた。

すなわち、施設を設置する場合は、断層変位を「避ける」という考え方によって、断層変位の想定を不要としていた。

一方、もとより施設の設置地盤（岩盤）には破碎帯などの弱面が存在しているので、地震動の影響に対する設置地盤の支持性能等の検討はこれまでもなされている。

福島第一事故の教訓を踏まえると、可能な限り想定外をなくすことが必要で、その上で、想定を超えた領域に対しても対処を行い、リスクをできる限り低減することが求められる。

断層変位については、上記のとおり、施設設置時点の判断により施設への影響評価の想定に含めていなかったが、想定から排除せずリスク評価を行うことが、隙間のない一貫した原子力安全の対応となる。

既設の原子力施設において、新たな情報等によって断層変位の考慮の必要性が生じた場合には、地形・地質調査などから得られる情報に基づき断層変位という事象の内容（発生位置、ずれ量、方向、頻度など）を想定し、次のステップとして施設に対する影響の検討を行うことが基本的な手順となる。これら評価においては、不確かさが適切に考慮されねばならない。

その上で、想定する断層変位を設定しても、事象の不確かさが大きいことから、想定を超える場合も考慮してリスク評価を行うことが必要である（図3）。

ここで、断層変位により発生する事象に対しても、深層防護の考え方で対処することが基本であり、有効である。知識やデータが限られている低頻度事象に対して、深層防護は一層重要な戦略となる。

既設の原子力施設においては、福島第一事故の経験を踏まえ、深層防護の考え方も適用しながら、アクシデントマネジメントなど、様々な対応策が講じられている。

これらは断層変位を想定して講じられてきているものではないが、事故以前よりもロバストな防護策が講じられていると考えられることから、これらも含めて、断層変位に対する評価をしていくことが技術的に理に適っている。

具体的には、例えばすでに地震動などに対してなされていた設計あるいはその設計裕度の範囲において、想定する断層変位に対しても安全上重要な機能を有する施設（SSC）の要求性能が満足されるかを確認する。変位量の程度によっては、施設の有する安全機能に支障を与えない場合が考えられる。

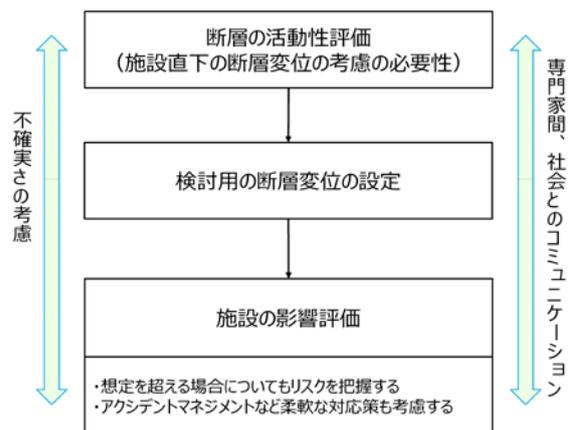


図3 既設炉の対する評価手順案

また、既設炉の当初設計においては断層変位を設計基準事象としては想定していなかったことから、必要に応じて、福島第一事故後に拡張・強化された影響緩和策（アクシデントマネジメント）も含めた有効性についても検討を行う。

さらに、想定を超えた断層変位に対してもリスク評価を行い、アクシデントマネジメントの有効性の検討を行う。

これらの評価・検討においては、断層変位の生じる頻度や現象の特徴を踏まえた考慮が重要となる。

例えば、想定する断層変位の位置は、調査により施設直下の設置地盤の断層位置（弱面の位置）に設定することができる。このことは、断層変位により施設に発生するせん断応力等の伝搬が施設内において空間的に限定される可能性があるため、そのことを事故シナリオの中に考慮することが重要となる。同様の機能を有する SSC が分散配置されていれば、共通要因故障の回避を考慮することができる。さらに、現在、より一層の信頼性向上のために航空機落下やテロなどへの対処が検討されており、想定を超える断層変位の評価においては、このような大規模損壊に対する対応策も考慮することができる（図4）。

以上、断層変位に対しても多段階リスクマネジメントのスキームで考えていくこと、すなわち、高頻度で被害が小さい事象に対する対象領域から、低頻度ではあるが被害が大きい対象領域まで、それぞれの領域に応じた考え方、例えば工学的に質の異なる対応策で考えていくことが重要である。

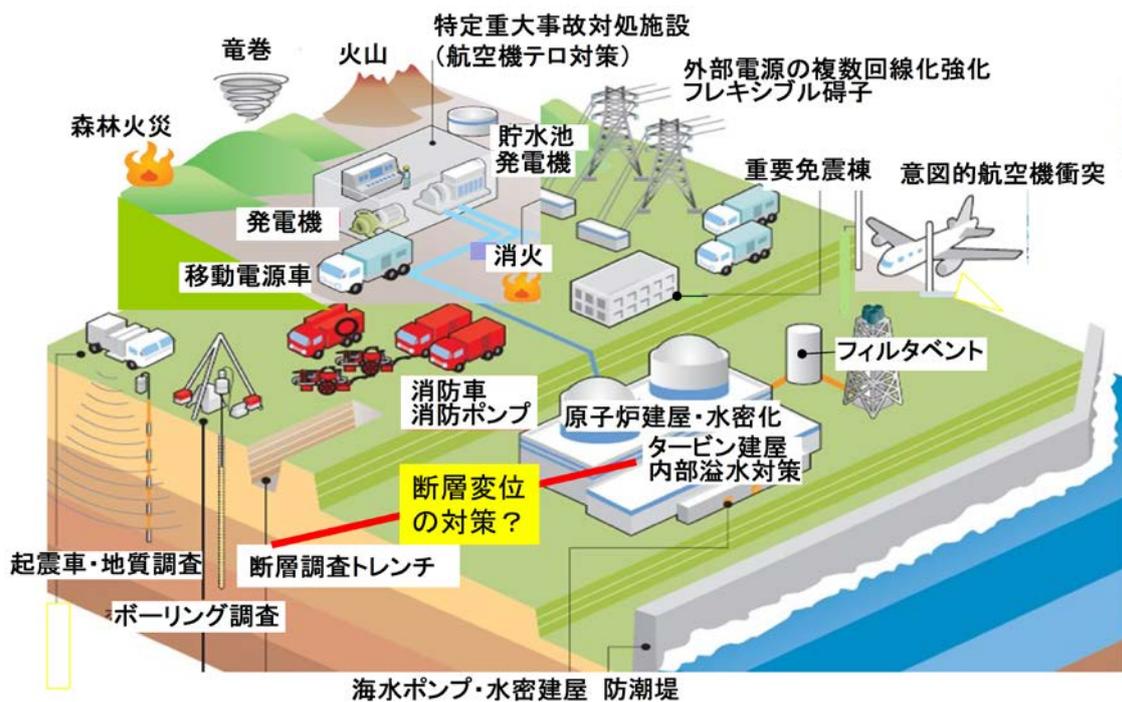


図4 新規制基準への対応策の概要

なお、本調査専門委員会の検討に当たっては、日本原子力学会標準委員会から発刊されている「原子力安全の基本的考え方について 第I編 原子力安全の目的と基本原則」、「原子力安全の基本的考え方について 第I編 別冊 深層防護の考え方」、「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014」などを踏まえている。